

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-295625

(43)Date of publication of application : 21.10.1994

(51)Int.Cl.

H01B 12/10

(21)Application number : 05-078119

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD
JAPAN ATOM ENERGY RES INST

(22)Date of filing : 05.04.1993

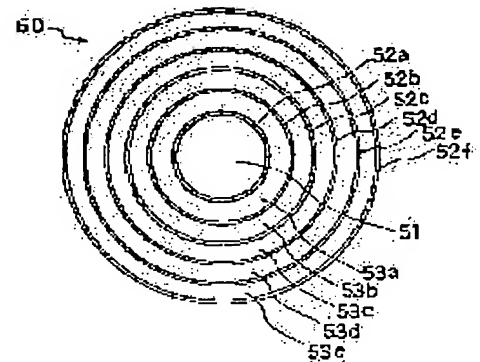
(72)Inventor : KATO TAKESHI
SHIBUTA NOBUHIRO
SATO KENICHI
ANDO TOSHINARI
ISONO TAKAAKI

(54) OXIDE SUPERCONDUCTIVE WIRE MATERIAL AND ITS USING METHOD

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide an oxide superconducting wire material having a less decrease in superconducting characteristic even if a large current is flowed.

CONSTITUTION: In an oxide superconductive wire material 60, oxide superconductive wires 52a-52f which are respectively arranged coaxially in the longitudinal direction and sandwiches insulation members 53a-53e are positioned. The wires 52a-52f are alternately arranged so that they serve as the coming path and returning path of current in the dia. direction of wire 60.



(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平6-295625

(43) 公開日 平成6年(1994)10月21日

(51) Int. Cl. ⁵

H01B 12/10

識別記号

ZAA

7244-5G

F I

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全7頁)

(21) 出願番号 特願平5-78119

(22) 出願日 平成5年(1993)4月5日

(71) 出願人 000002130

住友電気工業株式会社

大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号

(71) 出願人 000004097

日本原子力研究所

東京都千代田区内幸町2丁目2番2号

(72) 発明者 加藤 武志

大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電

気工業株式会社大阪製作所内

(72) 発明者 渋谷 信広

大阪市此花区島屋一丁目1番3号 住友電

気工業株式会社大阪製作所内

(74) 代理人 弁理士 深見 久郎 (外3名)

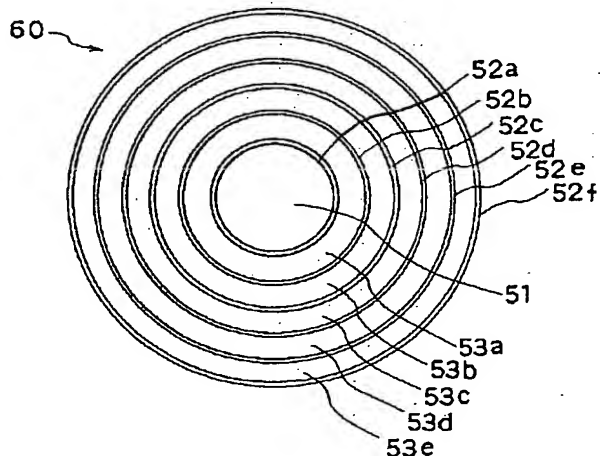
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 酸化物超電導線材およびその使用方法

(57) 【要約】

【目的】 大電流を流しても超電導特性の低下の少ない酸化物超電導線材を提供する。

【構成】 フォーマー51の周囲において、長手方向に沿って同芯円状に複数の酸化物超電導線52a~52fが絶縁材53a~53eを互いに挟んで配置された酸化物超電導線材60であって、酸化物超電導線52a~52fは、線材60の径方向において隣り合う線同士で電流の往路および復路となるように交互に配置されている。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 電流の往路および復路として対をなす複数の酸化物超電導体が、同芯円状に配置されたことを特徴とする、酸化物超電導線材。

【請求項 2】 電流の往路および復路として対をなす複数の酸化物超電導体が同芯円状に配置された導体を複数束ねてなることを特徴とする、酸化物超電導線材。

【請求項 3】 電流の往路および復路として対をなす複数の酸化物超電導体が同芯円状に配置された酸化物超電導線材の使用法であって、前記対をなす複数の酸化物超電導体に、大きさが略等しく、かつ互いに逆方向の電流が流れるようにすることを特徴とする、酸化物超電導線材の使用法。

【請求項 4】 電流の往路および復路として対をなす複数の酸化物超電導体が同芯円状に配置された酸化物超電導線材の使用法であって、同芯円状に配置された複数の酸化物超電導体において、最も内側および最も外側に配置されたそれぞれの超電導体に互いに逆方向の電流が流れるようにするとともに、これらの超電導体間に配置された対をなす超電導体に、大きさが略等しく、互いに逆方向で、かつ最も内側の超電導体に流れる電流より大きな電流が流れるようにすることを特徴とする、酸化物超電導線材の使用法。

【請求項 5】 電流の往路および復路として対をなす複数の酸化物超電導体が同芯円状に配置された酸化物超電導線材の使用法であって、電流の往路および復路として対をなす酸化物超電導体に、大きさが略等しく、かつ互いに逆方向の電流が流れるようにするとともに、対をなす酸化物超電導体の径が大きくなるに従って、より大きな電流が流れるようにすることを特徴とする、酸化物超電導線材の使用法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【産業上の利用分野】本発明は、酸化物超電導線材に関し、特に大電流を流すブスバー導体などに用いることのできる酸化物超電導線材の構造およびその使用方法に関する。

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】近年より高い臨界温度を示す超電導材料として、イットリウム系、ビスマス系およびタリウム系などの酸化物超電導体が注目されている。

【 0 0 0 3 】これらは、液体窒素温度で超電導状態となるため、ケーブル導体、および超電導マグネットへの電流リードなどとしての応用が期待されている。

【 0 0 0 4 】現在使用されている、あるいは将来使用が予定されている大電流用ブスバー導体は、通電電流が 3 0 K A ~ 4 5 K A のものなどがある。

【 0 0 0 5 】

【発明が解決しようとする課題】図 7 は、液体窒素温度における B i 系超電導線材の J c (臨界電流密度) - B

(磁束密度) 特性を示す図である。上述のような大電流が、1本の導体に通電されると、自己磁場は 3 0 0 0 ~ 5 0 0 0 ガウスになる。図 7 から明らかなように、このような高い磁場中では、J c は、1 / 2 ~ 1 / 1 0 に低下してしまう。特に、テープ面に対して垂直に磁場が印加された場合の J c の低下は大きい。

【 0 0 0 6 】この発明の目的は、大電流が流れても超電導特性の低下が少ない酸化物超電導線材を提供することにある。

10 【 0 0 0 7 】

【課題を解決するための手段】本発明に従う酸化物超電導線材は、電流の往路および復路として対をなす複数の酸化物超電導体が、同芯円状に配置されたことを特徴とする。

【 0 0 0 8 】本発明に従う酸化物超電導線材をその断面について見ると、一塊りの導体が線材の径方向において多重に分割されている構造となる。これらの分割された導体において、電流の往路および復路となるものを 1 対とし、この対をなす導体の組が、少なくとも 1 組、好ましくは、2 組、3 組、4 組、5 組、6 組、…と設けられる。このように対をなす導体が 1 組から増えるとともに、分割された導体の数は、2、4、6、8、1 0、1 2、…のように増加する。同じ径を有する導体においては、分割数が多い方が好ましい。

【 0 0 0 9 】このように分割された導体について、対をなす導体間では互いに逆方向の電流を流す。流される電流は、対をなす導体間でその大きさを略等しくすることができる。また、対をなす導体間で大きさが略等しく、かつ互いに逆方向の電流を流すとともに、酸化物超電導体の径が大きくなるに従ってより大きな電流を流すこともできる。

【 0 0 1 0 】図 1 に本発明に従う酸化物超電導線材の一具体例を示す。酸化物超電導線材 1 0 において、それぞれ異なる径を有する 1 0 本の酸化物超電導体 1 a、1 b、1 c、1 d、1 e、1 f、1 g、1 h、1 i、および 1 j が同芯円状に配置されている。これらの酸化物超電導体は、該線材 1 0 の長手方向 (図において矢印で示す) に延びている。これらの酸化物超電導体は、互いに絶縁されている。なお、これらの酸化物超電導体は、安定化金属により被覆されることが好ましい。

【 0 0 1 1 】図 1 に示す酸化物超電導線材において、隣り合う超電導体同士を 1 対とし、対をなす超電導体に、互いに逆方向で、かつ大きさの等しい電流を流すことができる。このようにして電流を流せば、最も小さい径を有する超電導体から、たとえば、+ a、- a、+ a、- a、+ a、- a、+ a、- a、+ a、- a の電流を流すことになる。

【 0 0 1 2 】このようにして電流を流した場合、線材の中心からの距離 r と磁界 H の関係は図 2 に示すようになる。すなわち、最も小さな径を有する超電導体について

発生する磁場が最も大きくなり、中心からの距離 r が大きくなるに従って発生する磁場 H は減衰していく。

【0013】図1に示す線材では、超電導体が、往路、復路、往路、復路……というように往路と復路とが交互に配置されていたが、超電導体を往路、復路、復路、往路、往路、復路、復路、往路…というように配置しても発生する磁場の大きさには変わりがないはずである。このような配置において、隣り合う往路同士および復路同士を一体化すると、図3に示すような構造を有する超電導線材が得られる。図に示す酸化物超電導線材20においては、異なる径を有する6つの酸化物超電導体11a、11b、11c、11d、11eおよび11fが同芯円状に配置されている。これらの超電導体は互いに絶縁されている。このような構造を有する超電導線材において、最も小さな径を有する超電導体から外側に行くに従って、 $+a$ 、 $-2a$ 、 $+2a$ 、 $-2a$ 、 $+2a$ 、 $-a$ の電流を流せば、図1に示すように10の超電導体が配置された線材と同じ磁場環境とすることができる。このように、同芯円状に配置された複数の超電導体において、最も内側および最も外側に配置されたそれぞれの超電導体に互いに逆方向の最小電流を流すとともに、これらの超電導体間に配置された対をなす超電導体に互いに逆方向で、かつ最小電流の2倍の電流を流すことができる。このような電流を流すことにより、往路と復路が交互に設けられ、大きさの等しい電流が流される線材と同じ大きさの磁場環境が発生する一方、設けられる超電導体の数が低減された線材を提供することができる。このような線材は、端末処理がより簡単になる。

【0014】さらに、たとえば、図4に示すようにして超電導体に電流を流すことができる。図4に示す線材30は、同芯円状に配置された6つの酸化物超電導体21a、21b、21c、21d、21e、21fを有する。これらの超電導体に、図に示すように、たとえば内側から $+2$ 、 -2 、 $+4$ 、 -4 、 $+6$ 、 -6 のように電流を流すことができる。

【0015】このようにして電流の往路および復路として対をなす酸化物超電導体に大きさが等しく、かつ互いに逆方向の電流を流すとともに、対をなす酸化物超電導体の径が大きくなるに従ってより大きな電流を流すことができる。

【0016】このような電流の流し方において、線材に発生される磁場 H は、線材の中心からの距離 r に対して図5に示すような関係を有する。すなわち、発生する最大の磁場は、距離 r が変わっても変化せず、一定の値をとるようになる。

【0017】上述したように、線材の J_c は線材に発生する磁場により低減される。 J_c の低減率は、発生する磁場が大きくなるほど増加する。したがって、線材において発生する磁場の最大値をより小さく抑えることが、 J_c の低減を抑える上で重要となってくる。

【0018】このような観点から、図1で示したように複数の超電導体に大きさの等しい電流を流すよりも、図4に示すように最も小さな径を有する超電導体に最小の電流を流し、超電導体の径が大きくなるに従って磁場の最大値が一定になるようにより大きな電流を流していき、合計として同じ大きさの電流を流す方が、発生する磁場の最大値をより低く抑えることができる。これにより、線材の J_c の低減をより抑えることができる。

【0019】さらに、本発明に従って、電流の往路および復路として対をなす複数の酸化物超電導体と同芯円状に配置された導体を、複数集めた酸化物超電導線材を提供することができる。このような線材は、たとえば、電流の往路および復路として対をなす複数の酸化物超電導体と同芯円状に配置された酸化物超電導線を複数本撚り合わせた撚線とすることができる。

【0020】複数の酸化物超電導体と同芯円状に配置された導体を複数有する線材の一例を、図6に示す。酸化物超電導線材50は、6つの導体40a~40fを有し、それぞれの導体は、図に拡大して示すように、互いに絶縁され、かつ同芯円状に配置された複数の酸化物超電導体41a~41dを有する。図6には、複数の導体を平角状に撚り合わせた平角撚線を示したが、本発明に従う線材は、任意の構造を有する撚線とすることができる。たとえば、図6に示すような一次撚線をさらに撚り合わせた線材を本発明に従って提供することもできる。

【0021】本発明に従う酸化物超電導線材は、たとえば、テープ状の酸化物超電導線をまず円筒状の絶縁体に巻付けた後、その上に絶縁体を被覆し、絶縁体の上にさらにテープ状の酸化物超電導線を巻付けることにより形成することができる。酸化物超電導線の巻付けと絶縁体の被覆は、交互に複数回行なうことができる。ここで用いられる酸化物超電導線は、単芯線でも多芯線でもよい。酸化物超電導線は、たとえば、イットリウム系、ビスマス系、またはタリウム系などの酸化物超電導体が安定化金属により被覆された構造とすることができる。また、酸化物超電導線は、たとえばスパイラル状に巻付けることができる。

【0022】本発明に従う酸化物超電導線材は、好ましくは100A以上、より好ましくは1000A以上の大電流を流すためのものである。また、本発明に従う酸化物超電導線材の使用方法は、好ましくは100A以上、より好ましくは1000A以上の大電流を流すために適用される。このような大電流を流す線材において、以下の作用で示すような磁場のキャンセル効果を有する酸化物超電導線材は特に有用となる。

【0023】

【作用】内径 a 、外径 b の線材における電流 I と磁界 H の関係を以下に説明していく。導体の中心からの距離 r が導体の外径 b よりも大きい場合には、以下の数1のような式で表わされる磁界が発生する。

【0024】

【数1】

【0025】また、導体の中心からの距離 r が導体の外径 b よりも小さく、内径 a よりも大きいときには、以下の数2の式で表わされる磁界 H が発生する。

【0026】

【数2】

【0027】また、内径 a よりも小さいときには、磁界 H は数3に示すように0である。

【0028】

【数3】

【0029】以上数1～数3の式から線材の中心からの距離 r と磁界 H との関係を図に表わすと、図8のようになる。

【0030】以上の関係を示す導体の外周に、さらに導体を配置して互いに逆方向の電流(I 、 $-I$)を流したとき、距離 r と磁界 H との関係は図9に示すようになる。

【0031】このとき、重要なのは、外周に設けられた導体の外側において磁場が0となることである。したがって、電流の往路、復路を多重に分割し、(1)往路、復路、(2)往路、復路、(3)……としても、

(1)、(2)、(3)…の導体は互いに磁氣的に何ら他の導体の影響を受けず、かつ与えない。これにより、1対の往路、復路の分割を多重に行なって I を小さくすることにより、磁界が小さくなることがわかる。

【0032】また、もう1つの効果の大きい点は、たとえば上述したように酸化物超電導テープを円筒状の物体に巻付けることで、酸化物超電導体を円周方向に平行に配置することができる。このような配置をとる場合、磁界の方向はテープ面に対してすべて平行成分となり、 J_c の低下を最低限に抑えることができる。

【0033】磁界の大きさの分布から言えば、半径が小さいほど磁界は大きくなるので、酸化物超電導線材全体にわたって平均的に磁界の大きさを低くしようとするときは、線材の径方向において、それぞれの導体に流れる電流が等しくなるように超電導体を分割するのではなく、図4で示したように、半径が大きくなるにつれて導体に流す電流が大きくなるよう、酸化物超電導体が分割されることが好ましい。

【0034】また、線材の径方向において分割数が増えたと導体の末端処理が複雑になるので、分割数を減らしたときには、往路、復路、往路、復路…というような順に導体を配置せず、往路、復路、復路、往路、…のように配置し、たとえば図3で示したように、隣合う往路または復路のどちらかを1つの導体にすればよい。このときの磁場の大きさの低減効果は、1つの導体にまとめない場合と全く同じである。

【0035】

【実施例】

実施例1

$Bi:Pb:Sr:Ca:Cu=1.8:0.4:2.0:2.2:3.0$ の組成を持つように、それぞれの元素を含む酸化物または炭酸塩を混合し、熱処理および粉碎を施すことにより粉末を作製した。この粉末について10 Torrの減圧雰囲気、710℃、12時間の脱ガス処理を施した。

【0036】その後、外径12mm、内径9mmの銀パイプに粉末を充填し線材化を行なった。その結果直径10mmの線材を得た。この線材を、外径12mm内径9mmの銀パイプ中に挿入して嵌合した。この嵌合材を直径1mmまで伸線した後、厚みが0.295mmになるまで圧延した。

【0037】得られた線材を845℃で50時間焼結した後、再度厚みが0.215mmになるまで圧延し、840℃で50時間の焼結を行なった。

【0038】得られたテープ状の線材を外径18mmφのFRPパイプをフォーマーとし、ピッチ25cmでスパイラル状に巻付けた。次に、絶縁材としてカプトンテープを5mmの厚さで巻付けた。同様に、超電導線の巻付け-カプトンテープの巻付けの工程を4回繰り返した後、さらに外周のテープ状の超電導線を巻付けて酸化物超電導線材を得た。

【0039】得られた線材の正面を図10に示す。図に示すように、酸化物超電導線材60において、中心にはフォーマー51が設けられ、その周囲に、それぞれ異なる径から巻付けられた酸化物超電導線52a、52b、52c、52d、52eおよび52fが、絶縁材53a、53b、53c、53d、および53eをそれぞれ挟んで同心円状には位置されている。これらの導体において、流される電流は、内側から+0.9kA、-1.8kA、+1.8kA、-1.8kA、+1.8kA、-0.9kAとなっており、合計4.5kAの往復導体となっている。

【0040】この導体に4.5kAの往復通電をしたところ、導体の最大磁束密度は126 Gauss、平均磁束密度は50 Gaussとなった。磁場の方向は端末部を除いてすべてテープに対して平行成分であった。

【0041】実施例2

40 $Bi:Pb:Sr:Ca:Cu=1.8:0.4:2.0:2.2:3.0$ の組成を持つように、それぞれの元素を含む酸化物または炭酸塩を混合し、熱処理および粉碎を施すことにより粉末を調製した。この粉末について、860℃、2時間の脱ガス処理を施した。

【0042】その後、外径12mm、内径9mmの銀パイプに粉末を充填し、線材化を行なった。得られた線材は直径3mmであった。

【0043】この線材を外径12mm、内径9mmの銀パイプ中に挿入して嵌合した。この嵌合材を直径1mmまで伸線した後、厚みが0.28mmになるまで圧延し

た。

【0044】得られた線材を845℃で50時間焼結した後、再度厚みが0.200mmになるまで圧延し、840℃で50時間の焼結を行なった。

【0045】得られたテープ状の超電導線を、外径18mmφのFRPパイプをフォーマーとして、これにピッチ25cmでスパイラル状に巻付けた。次に、絶縁材としてカプトンテープを5mmの厚さで巻いた。同様に、超電導線の巻付けおよび絶縁材の巻付けを交互に繰り返して、内側の導体から+0.44kA、-0.44kA、+0.715kA、-0.715kA、+0.99kA、-0.99kA、+1.265kA、-1.265kA、+1.54kA、-1.54kAの導体、合計4.5kAの往復導体構造を有する酸化物超電導線材を作製した。

【0046】得られた線材に4.5kAの往復通電を行なったところ、導体の最大磁束密度は76.5ガウス、平均磁束密度は35ガウスであった。また、磁束の方向は端末部を除きすべてテープに対して平行であった。

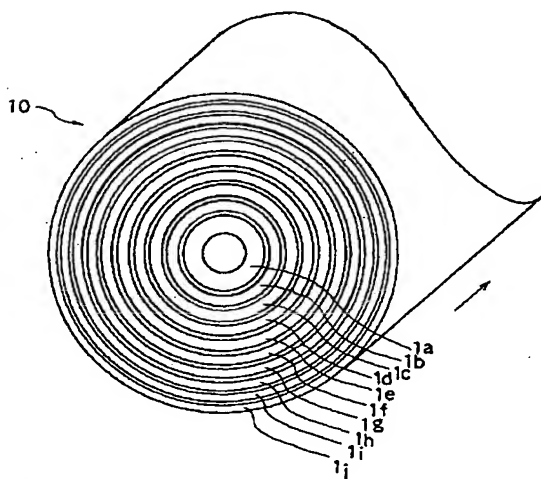
【0047】

【発明の効果】以上説明したように、本発明に従えば、大電流を流した際も、発生する磁場を低く抑え、臨界電流密度の低下を著しく抑制することができる。

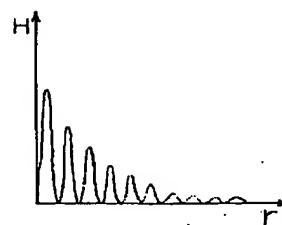
【0048】このため、この発明に従う酸化物超電導線材は、ケーブル導体、ブスバー導体、コイルおよび超電導マグネットへの電流リードなどとして有効に用いることができる。

【図面の簡単な説明】

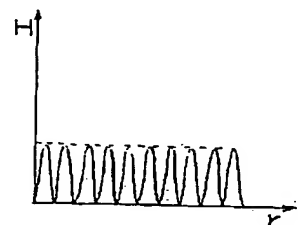
【図1】



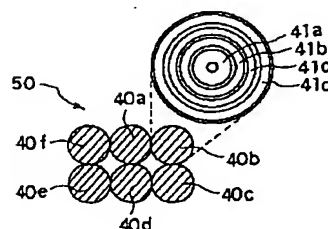
【図2】



【図5】



【図6】



【図1】本発明に従う酸化物超電導線材の一例を示す斜視図である。

【図2】図1に示す線材に発生する磁場Hと線材の中心からの距離rとの関係を示す図である。

【図3】本発明に従う酸化物超電導線材のもう1つの例を示す斜視図である。

【図4】本発明に手段買う酸化物超電導線材の他の具体例を示す斜視図である。

【図5】図4に示す線材に発生する磁場Hと線材の中心からの距離rとの関係を示す図である。

【図6】本発明に従って提供される他の線材を示す断面図である。

【図7】液体窒素温度におけるBi系超電導線材のJc-B特性を示す図である。

【図8】内径a、外径bの線材における電流Iと磁界Hの関係を示す図である。

【図9】内径a、外径bの線材の外周にさらに導体を設け、互いに逆方向の電流を流したときの電流Iと磁界Hの関係を示す図である。

20 【図10】実施例1において作製された酸化物超電導線材を示す正面図である。

【符号の説明】

1a~1j, 11a~11f, 21a~21f 酸化物超電導体

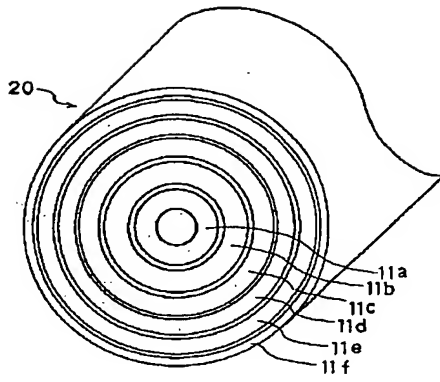
10, 20, 30, 50, 60 酸化物超電導線材

40a~40f 導体

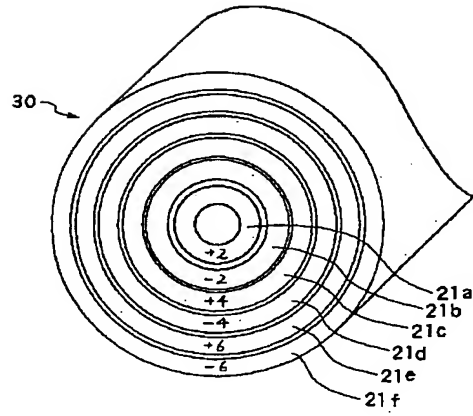
51 フォーマー 52a~52f 酸化物超電導線

53a~53e 絶縁材

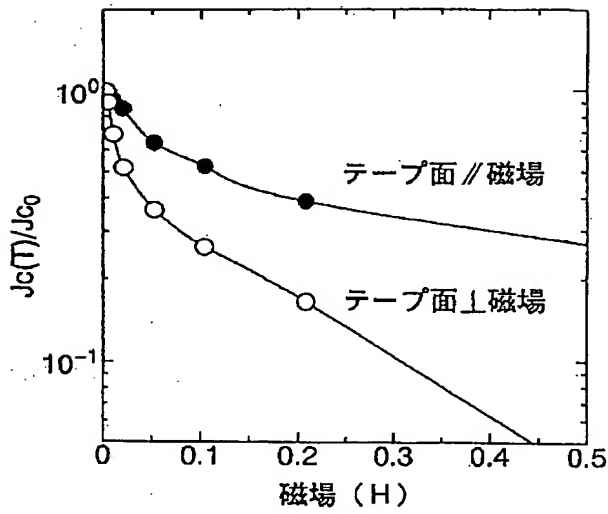
【図3】



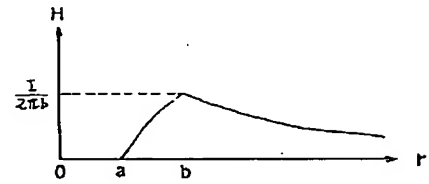
【図4】



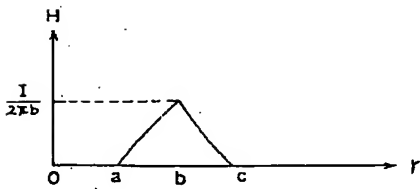
【図7】



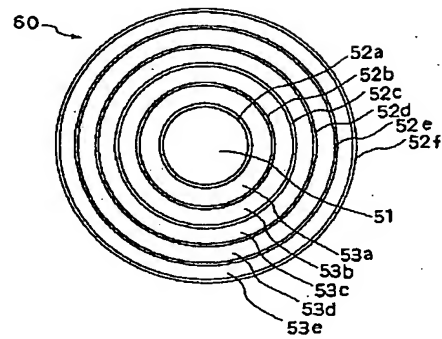
【図8】



【図9】



【図10】



フロントページの続き

(72)発明者 佐藤 謙一
大阪市此花区島屋一丁目 1 番 3 号 住友電
気工業株式会社大阪製作所内

(72)発明者 安藤 俊就
茨城県那珂郡那珂町大字向山字中原 801 番
地の 1 日本原子力研究所 那珂研究所内

(72)発明者 磯野 高明
茨城県那珂郡那珂町大字向山字中原 801 番
地の 1 日本原子力研究所 那珂研究所内